

УДК 622.692.4.076.620.193.92.01

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АГРЕСИВНОСТІ ГРУНТІВ НА КОРОЗІЙНЕ РУЙНУВАННЯ ТІЛА ТРУБИ

*В.В. Григораиш<sup>1)</sup>, Б.Б. Бачинський<sup>1)</sup>, А.М. Сошка<sup>1)</sup>, С.М. Дранчук<sup>2)</sup>*

*1) Науково-дослідний і проектний інститут ВАТ "Укрнафта",  
Північний бульвар імені Пушкіна, м. Івано-Франківськ, 276019, тел.(0342)71-72-59*

*2) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел.(03422)4-20-64*

*Описано результати лабораторних та промислових досліджень впливу агресивності ґрунтів на корозійне руйнування тіла труби в реальних умовах ВАТ "Укрнафта".*

*Ключові слова: агресивність ґрунтів, корозійне руйнування, втрата маси.*

*Описаны результаты лабораторных и промышленных исследований влияния агрессивности грунтов на коррозионное разрушение тела трубы в реальных условиях ВАТ "Укрнафта".*

*Ключевые слова: агрессивность грунтов, коррозионное разрушение, потеря массы.*

*The results of laboratory and industrial researches of influence of aggressiveness of soils are described on corrosive destruction of body of pipe in the real terms of OJSC "Ukrnafta".*

*Keywords: aggressiveness of soils, corrosive destruction, loss of mass.*

Найбільш актуальним питанням для ВАТ "Укрнафта" в умовах економічної кризи є забезпечення ефективної роботи існуючого обладнання та збільшення ресурсу його роботи за рахунок забезпечення надійного захисту від корозії та зменшення експлуатаційних витрат.

На сьогоднішній день в умовах ВАТ "Укрнафта" впроваджено захист обладнання від зовнішньої корозії із застосуванням ізоляційних покриттів (пасивний захист) посиленого (клас Б) та надто посиленого (клас В) типів, а також систем катодного чи протекторного захисту (активний захист).

В місцях виникнення пошкоджень ізоляційного покриття розпочинається процес корозії металу. З метою запобігання інтенсивному розвитку корозійних процесів та руйнування обладнання впроваджуються системи активного захисту. Їхнім завданням є зміщення потенціалу об'єкту у від'ємну сторону та підтримання його на необхідному рівні по всій площі обладнання з моменту початку будівництва до завершення експлуатації. Такі заходи дають змогу значно продовжити термін експлуатації обладнання.

Згідно чинної галузевої нормативної бази все нафтогазопромислове обладнання (НГПО) ВАТ "Укрнафта" підлягає захисту (пасивному чи активному) від корозії. Доцільність впровадження методів протикорозійного захисту визначається за результатами

комплексної оцінки з урахуванням технологічної необхідності та економічної ефективності захисту [1].

Критеріями оцінки небезпеки від зовнішньої корозії підземних металевих споруд є корозійна активність середовища по відношенню до металу споруди та (або) небезпечний вплив блукаючих струмів.

З метою вивчення впливу агресивності ґрунтів на корозійне руйнування тіла труби в реальних умовах проведено обстеження шлейфу від ВРП-2 до свердловини 61 Бугруватівського родовища НГВУ "Охтирканафтогаз" (довжина - 3880 м). Продуктом транспортування була пластова вода, електрохімічний захист труби відсутній.

Трубопровід включає два типи труб: сталь 20, Ø114x12мм довжиною 480 м та сталь 06Х1, Ø144x12мм довжиною 2880 м. Інформація про тип ізоляційного покриття відсутня.

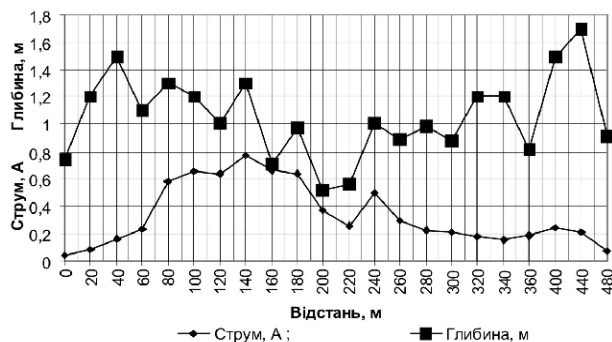
Паралельно до вищезазначеного коридору трубопроводів проходить лінія електропередач 6 кВ на відстані 1-1,5 м та лінія електропередач 35 кВ на відстані 10 м. Трубопровід, що обстежувався, має перетини з лінією електропередач 6 кВ та 35 кВ на ділянці 20 м, та з відгалуженням від лінії 6 кВ на ділянці 1300 та 2960 м. Дана ділянка трубопроводу також проходить паралельно до відгалуження лінії електропередач 6 кВ.

Проведено аналіз та систематизацію поривів

на нагнітальному колекторі від БКНС до ВРП-1 та шлейфі від ВРП-2 до свердловини 61 Бугруватівського родовища, які пролягають в одному коридорі, за результатами якого визначено, що пориви відбувались на спільних ділянках і мали системний характер.

Значення природного потенціалу в початковій точці становить мінус 0,51 В, а в кінцевій мінус 0,61 В. Природний потенціал в початковій точці трубопроводу характерний для сталевих трубопроводів, прокладених без ізоляційного покриття в ґрунті. Природний потенціал в кінцевій точці трубопроводу характерний для сталевих трубопроводів з ізоляційним покриттям, прокладених в ґрунті.

Проведено обстеження ділянки трубопроводу з ймовірно нанесеним ізоляційним покриттям за допомогою трасопошукового комплексу "Спрут-5М". Обстеження проводились в напрямку від свердловини 61 Бугруватівського родовища з підключенням генератора на віддалі 140 м та 400 м від свердловини у відкритій траншеї. Результати вимірювань наведено на графіку рис.1.



**Рисунок 1 – Графіки зміни глибини залягання трубопроводу та затухання струму генератора по довжині ділянки, на якій проводились обстеження**

Отримані під час проведення обстеження результати свідчать про наявність ізоляційного покриття на ділянці з 3460 м по 3880 м з пошкодженнями локального характеру, які могли утворитись при розкритті трубопроводу. На ділянці трубопроводу з 0 м по 3460 м ізоляційне покриття відсутнє. Глибина залягання трубопроводу 0,6 – 1,7 м.

На основі проведеного аналізу динаміки поривів та стану ізоляційного покриття прийнято рішення провести шурфування трубопроводу в місцях, де пориви мали системний характер: ПК-09 (900 м від ВРП-2) та ПК-12 (1200 м від ВРП-2), а також на ділянці, де

пориви трубопроводу відсутні (ПК-32, 3200 м від ВРП-2).

Природний потенціал, виміряний в шурфах ПК-09 становить мінус 0,51 В, ПК-12 – мінус 0,54 В та ПК-32 – мінус 0,61 В. Заміряні значення природного потенціалу свідчать про відсутність поляризаційних потенціалів. Потенціал, виміряний на ПК-32, свідчить про наявність ізоляційного покриття на даній ділянці, що підтверджено при огляді в шурфі.

На основі електрометричних замірів згідно ДСТУ Б В.2.5-29:2006 [2] з метою визначення небезпечного впливу змінного струму на ділянках трубопроводу, паралельних з ЛЕП 35 кВ, зроблено висновок про те, що на даних ділянках не зафіксовано змінної напруги, а також не відмічено зміни потенціалу дослідного сталевого електрода, що свідчить про відсутність небезпечної дії змінного струму.

Проведено визначення корозійної агресивності ґрунтів вздовж трубопроводу в місцях проведення шурфувань за питомим опором ґрунту. Питомий опір ґрунту в місцях проведення вимірювання становить 23,6 – 28,4 Ом·м, що свідчить про приналежність ґрунтів до середовищ з середньою корозійною активністю. Швидкість корозії металу для середовищ даного типу змінюється від 0,01 до 0,3 мм/рік [2]. З метою визначення причин корозійного руйнування на попередньо визначених корозійно небезпечних ділянках трубопроводу проведено серію лабораторних досліджень наступного характеру.

#### 1. Дослідження хімічного складу ґрунтів

Дослідження хімічного складу ґрунтів проводились лабораторією аналізу ґрунтів відділу екології НДПІ ВАТ "Укрнафта". Результати лабораторного аналізу приведені в табл. 1.

**Таблиця 1 – Результати аналізу проб ґрунту**

Номер проби ґрунту	Вологість, %	pH водної витяжки, одиниці рН, ГДК = 5,5 – 8,2	Вміст гідрокарбонатів, мг/кг	Вміст хлоридів, мг/кг	Вміст сульфатів, мг/кг, ГДК = 160 мг/кг	Загальний вміст заліза Fe <sup>3</sup> , мг/кг
1	18,9	8,53	457,5	1783,1	40,2	7,3
2	20,7	8,61	396,5	32,1	52,1	3,0
3	11,6	6,2	30,5	1357,4	51,5	14

Примітка: проба 1 – відібрана в шурфі на ПК-09, проба 2 – відібрана в шурфі на ПК-32, проба 3 – відібрана в шурфі на ПК-12.

З даних, наведених в табл.1, видно, що в пробах 1 і 3 відзначено високий вміст заліза  $Fe^3$  та хлоридів. Проби 1 та 3 відібрано в шурфах з інтенсивними корозійними руйнуваннями, а проба 2 (фонова) в шурфі без ознак корозійного руйнування (на ділянці, де з початку експлуатації не зафіксовано поривів трубопроводу). Вміст хлоридів в пробах 1 та 3 перевищує фоновий показник в 42,3 – 55,6 разів.

Величина рН свідчить про приналежність відібраних проб ґрунту: 1 та 2 – до сильно лужних середовищ, а проби 3 – до слабо кислих.

Корозійне руйнування сталі в ґрунті пов'язане з хімічним складом ґрунтового електроліту, зокрема, з величиною рН, що впливає на потенціали корозійних елементів, на здатність до випадання з розчину солей заліза, кальцію і стійкістю захисних плівок на метали. Найменший корозійний вплив на сталь спостерігається при рН електроліту від 10 до 14. Найбільша глибина місцевих корозійних пошкоджень спостерігається в нейтральних чи слабо лужних ґрунтах, що містять значну кількість хлор- і сульфатіонів (наприклад: Cl 0,46-0,48 % і SO 0,39-1,1 %). Із зменшенням вмісту хлоридів і сульфатів глибина корозійних пошкоджень знижується. Однак функціональної залежності між цими показниками й інтенсивністю корозійних руйнувань трубопроводу не спостерігається, тому що на розвиток корозії впливає комплекс різних за впливом факторів.

На рис. 2 приведено типову залежність швидкості корозії сталі від вологості ґрунту. У слабо вологих ґрунтах швидкість корозії невелика через анодну пасивність сталі. Швидкість корозії поступово зростає зі збільшенням вологості, причому сама корозія здобуває нерівномірний (виразковий) характер. При вологості 12-17% корозія досягає максимуму і потім знижується в міру гальмування катодної реакції внаслідок утруднення доступу кисню, стаючи усе більш рівномірною. З наведених в табл.1 результатів аналізу ґрунту видно, що в пробах 1 та 3 відмічено вологість, при якій корозія досягає максимуму, а в пробі 2 значення вологості характерне для значень, при яких відбувається пасивація металу.

## 2. Визначення корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця при анодному розчиненні

В основу методу втрати маси покладено швидкість анодного розчинення металу (сталі) в досліджуваному ґрунті при певному значенні постійного струму від зовнішнього джерела струму [3].

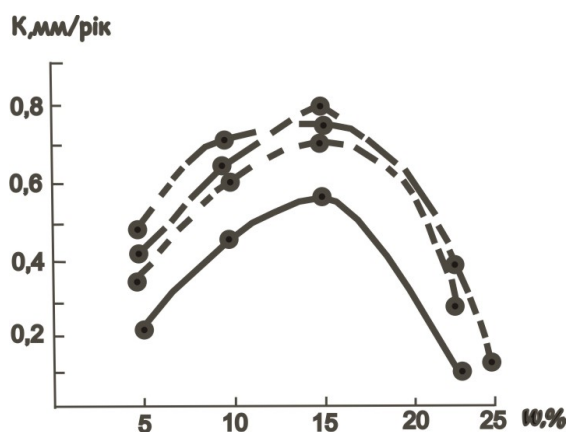
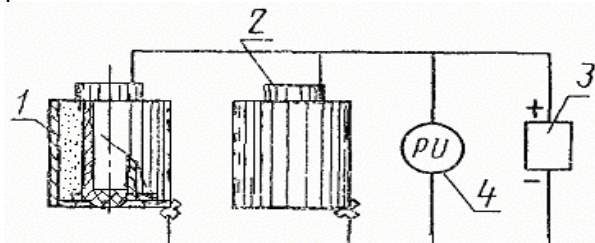


Рисунок 2 – Залежність швидкості корозії сталі від вологості ґрунту

ґрунт, що підлягає дослідженню, просушують до повітряно сухого стану, розтирають і просіюють через сито з діаметром отворів 0,5 мм. Після цього ґрунт зволожують до повного насичення, тобто до появи не поглинаючої вологи на поверхні. Підготовлений таким чином ґрунт поміщають в металевий стакан ємністю 0,5 л, діаметром 80 мм і висотою 110 мм. В ґрунтову масу вставляють попередньо очищений наждачним папером від продуктів корозії, обезжирений ацетоном, висушений, промаркований та зважений сталевий взірець довжиною 100 мм. Взірець зважують на вазі з похибкою 0,01 г. Результати зважування та розміри взірця записують.

Взірець розміщують точно посередині стакану та ізолюють від дна стакану нижній кінець трубки із взірцем за допомогою гумового корка так, щоб відстань між взірцем та дном становила 10 – 12 мм.

Мідним провідником взірець приєднують до плюсової, а стакан до мінусової клемми зовнішнього джерела струму. Напруга джерела струму повинна становити 6 В. Струм в колі пропускають протягом 24 годин. Схема установки для проведення дослідів приведена на рис. 3.



1 – металевий стакан; 2 – взірець; 3 – зовнішнє джерело постійного струму; 4 – вольтметр

Рисунок 3 – Схема лабораторної установки

По завершенні дослідження взірці виймають з стакана, очищають від продуктів корозії м'якою щіткою, промивають теплою дистильованою водою і після просушування повторно зважують з похибкою 0,01 г. Втрату маси взірця визначають за різницею його ваги до та після проведення досліду.

Оцінку корозійної агресивності ґрунту за втратою маси анодованого взірця (напруга 6 В, експозиція 24 години) проводять на основі даних, приведених в табл. 2.

**Таблиця 2 – Параметри оцінки агресивності ґрунту в залежності від втрати маси анодованого взірця сталі**

Втрата маси за добу, г	Ступінь корозійної активності ґрунту
Менше 1	Низька
1 – 2	Нормальна
2 – 3	Підвищена
Більше 3	Висока

Наведену в табл. 2 шкалу для сталі використовують і для оцінки корозійної активності ґрунту по відношенню і до інших металів. Незважаючи на певні умовності досліду, метод втрати маси дає позитивні результати. Перевагою даного методу є простота виконання досліджень, нескладне обладнання і швидке отримання результатів.

Результати проведених досліджень наведено в табл. 3.

**Таблиця 3 – Характеристики взірців до і після проведення досліджень**

Номер взірця	Номер проби ґрунту	Маса взірця, г	Робоча площа взірця, мм <sup>2</sup>
Початкові характеристики взірців			
III	1	45,4996	2323,6
I	2	45,7725	2323,6
II	3	45,0927	2323,6
Характеристики взірців після досліджень			
III	1	41,3426	2323,6
I	2	44,9413	2323,6
II	3	42,5452	2323,6

На рис. 4 приведені фото взірців до та після проведення дослідження, які розташовані за номерами проб ґрунту зліва направо.

### 3. Визначення корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця в сталих (статичних) умовах

В основу методу втрати маси покладено швидкість розчинення металу (сталі) в

досліджуваному ґрунті за певний період часу за гравіметричним методом [3].

Підготовку ґрунту і взірця металу до проведення випробувань проводять аналогічно п.2.



a)



б)

**Рисунок 4 – Фото взірців до (а) та після (б) проведення досліджень згідно п.2**

Оцінку корозійної агресивності ґрунту проводять за втратою маси взірця за період експозиції не менше 120 год. Результати проведених досліджень наведено в табл.4.

На рис. 5 приведені фото взірців до та після проведення дослідження (термін експозиції взірців 120 год.). Взірці на фото розташовані за номерами проб ґрунту зліва направо.

### 4. Аналіз результатів польових електрометричних обстежень та лабораторних досліджень

При проведенні польових обстежень встановлено, що навколо тіла трубопроводу в шурфах № 1 (ПК-09) та № 3 (ПК-12) ґрунт має забарвлення темного кольору, а тіло трубопроводу з корозійними пошкодженнями такого ж темного кольору. Фото, зроблені в відповідних шурфах, приведено на рис. 6 та рис 7. В шурфі 1 відмічено корозійні руйнування, що можна класифікувати як суцільну

нерівномірну корозію виразкового характеру, а в шурфі 3 відмічено корозійні руйнування, що можна класифікувати як суцільну рівномірну корозію.

**Таблиця 4 – Результати проведених досліджень**

Номер взірця	Номер проби ґрунту	Маса взірця, г	Робоча площа взірця, мм <sup>2</sup>
Початкові характеристики взірців.			
V	1	45,6602	2700,4
IV	2	45,1490	2700,4
VI	3	45,3697	2700,4
Характеристики взірців після досліджень. (експозиція 120 год)			
V	1	45,6045	2700,4
IV	2	45,1284	2700,4
VI	3	45,3141	2700,4



а)



б)

**Рисунок 5 – Фото взірців до (а) та після (б) проведення досліджень згідно п.3.**



**Рисунок 6 – Фото трубопроводу в шурфі № 1 на ПК-09**

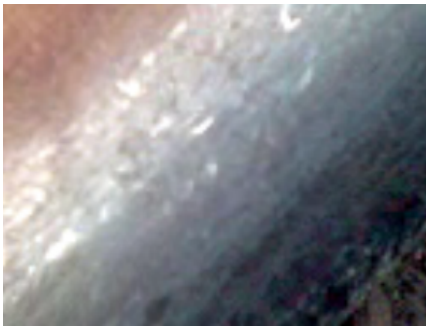


**Рисунок 7 – Фото трубопроводу в шурфі № 3 на ПК-12**

Утворення на певних ділянках сталевих трубопроводів численних каверн та забарвлення продуктів корозії в чорний колір, а також чорне забарвлення ґрунту навколо тіла труби є свідченням анаеробної корозії сульфат-відновлювальними бактеріями. Ще одним свідченням руйнування металу під дією бактерій є графітизація (утворення твердих сполук чорного забарвлення "піритів"), що було відмічено в даних шурфах.

В шурфі № 2 на ПК-32 (ділянка трубопроводу, на якій не зафіксовано поривів з початку експлуатації) при візуальному огляді тіла труби, на відміну від розглянутих вище ділянок, відмічено наявність покриття, що за зовнішнім виглядом подібне до праймерування (ґрунтовки) на основі бітуму, а також не виявлено слідів корозійного руйнування зовнішньої поверхні тіла трубопроводу. Зовнішній вигляд трубопроводу в шурфі наведено на рис. 8.

Аналіз втрати маси взірців приведено в табл. 5, в лінійках 1-3 цієї таблиці приведено втрату маси взірців при дослідженні корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця при анодному розчиненні, а в лінійках 4-5 приведено втрату маси взірців при дослідженні корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця в сталих (статичних) умовах.



**Рисунок 8 – Фото зовнішньої поверхні трубопроводу в шурфі №2 на ПК-32**

Із аналізу результатів лабораторних досліджень, які приведені в табл. 5, для взірців I–III і за якими проводилось дослідження корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця при анодному розчиненні видно, що втрати маси взірців відповідно склали: 0,83; 2,55 та 4,16 г. Отримані результати згідно критеріїв оцінки, наведених в табл. 5, свідчать про:

- низьку корозійну активність ґрунту в пробі № 2,
- підвищену корозійну активність ґрунту в пробі № 3,
- високу корозійну активність ґрунту в пробі № 1.

**Таблиця 5 – Порівняльний аналіз втрати маси взірців**

№ п/п	№ взірця	Маса взірця до проведення досліджень, г	Маса взірця після проведення досліджень, г	Втрата маси, г
1	III	45,4996	41,3426	4,1570
2	I	45,7725	44,9413	0,8312
3	II	45,0927	42,5452	2,5475
4	V	45,6602	45,6045	0,0557
5	IV	45,1490	45,1284	0,0206
6	VI	45,3697	45,3141	0,0556

При дослідженні корозійної агресивності ґрунтів за методом втрати маси взірця в сталих (статичних) умовах з терміном експозиції 120 год. підтверджено підвищену корозійну активність проб ґрунту 1 та 3 у порівнянні з пробною 2 (фоновою) в 2,7 разів.

Перерахунок втрати маси взірців у швидкість корозії  $V$  (мм/рік) здійснюють за формулою [4]:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{S\tau} \cdot 1,11, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса взірця до проведення досліджень, г;  
 $m_2$  – маса взірця після проведення досліджень, г;  
 $S$  – площа робочої поверхні взірця,  $m^2$ ;  $\tau$  – час проведення дослідження, год.

Підставивши відповідні значення у формулу (1), отримаємо:

- для проби ґрунту № 1 швидкість корозії становить 0,1907 мм/рік,
- для проби ґрунту № 2 швидкість корозії становить 0,0705 мм/рік,
- для проби ґрунту № 3 швидкість корозії становить 0,1904 мм/рік.

Корозійні характеристики одних і тих же ґрунтів, отримані при різноманітних методах дослідження, свідчать про наступне:

- на поряд розташованих ділянках трубопроводу спостерігається як добра їх збереженість, так і корозія з наскрізними пошкодженнями;
- для сусідніх ділянок відбору проб місця глибоких корозійних пошкоджень на трубопроводах корелюють з концентрацією  $Cl$  та  $Fe^3$  та корозійною активністю ґрунтів.

## ВИСНОВКИ

Проведення вказаних вище досліджень щодо протикорозійного захисту у ВАТ "Укрнафта" є необхідним, економічно доцільним і перспективним. За результатами таких досліджень можна розробляти рекомендації для попередження передчасного зношення та аварій трубопроводів. Це веде до зменшення затрат на ремонтні роботи технологічного обладнання і, відповідно, до зменшення собівартості транспортованої по трубопроводах продукції.

1. Григораиш В.В. Протикорозійний захист нафтопромислового обладнання ВАТ "Укрнафта" В.В. Григораиш, С.Д.Попович, Г.В.Городівська, І.С. Кісіль, М.М. Дранчук. // Методи та прилади контролю якості.-2009. - №22. – С.101-106. 2. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії : ДСТУ Б В.2.5-29:2006 – К.: МІНБУД України, 2006. 3. Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения: ГОСТ 9.015–74 - Москва, 1974. 4. Інгібіторний захист від корозії трубопроводів і НГПО: СОУ 11.1-001-35390-034:2006.

Поступила в редакцію 27.05.2010 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Копей Б.В.